

ALBACETE

# HIDROGE<sup>♂</sup>DÍA

# 2024

## AGUA DULCE – AGUA SALADA (Laguna de Pétrola)

Domingo 7 de abril de 10.00 A 14.00

Jornada de divulgación gratuita para todos los públicos sobre la hidrogeología



Zona de encuentro: Mirador de Pétrola



Ayto. Pétrola



III Concurso de Fotografía Hidrogeológica AIH - Hidrogeología 2024



22 de marzo de 2024 - Día Mundial del Agua  
¿Hay agua subterránea cerca de ti?  
Concurso del Agua Subterránea, 2024



El **Hidrogeodía** es una jornada de divulgación de la Hidrogeología (parte de la geología que estudia las aguas terrestres, teniendo en cuenta sus propiedades físicas, químicas y sus interacciones con el medio físico, biológico y la acción del hombre), con motivo de la celebración del **Día Mundial del Agua**. Esta jornada está promocionada por el Grupo Español de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y consta de **actividades gratuitas**, guiadas por hidrogeólogos y **abiertas a todo tipo de público**.

En Albacete, el **Hidrogeodía 2024** se celebra el día 7 de abril en el entorno de la laguna hipersalina de Pétrola. Para ello se cuenta con la colaboración del Departamento de Geología del Instituto de Estudios Albacetenses “Don Juan Manuel”, el Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Castilla – La Mancha (UCLM), el Departamento de Ingeniería Geológica y Minera (UCLM) y otros colaboradores.

Es una zona de gran interés hidrogeológico donde en 2016 ya se realizó un Geodía de Albacete ([https://serpi43.dipualba.es/archivo\\_alcaraz/PDF/Geolodia16.pdf](https://serpi43.dipualba.es/archivo_alcaraz/PDF/Geolodia16.pdf)). En efecto, el agua subterránea juega un papel fundamental en el mantenimiento de los niveles de agua en los lagos y humedales durante los meses de estiaje. Además, en el caso de la laguna hipersalina de Pétrola la salmuera del humedal se sitúa por encima, de la relativamente, agua dulce del acuífero, lo cual produce una inestabilidad gravitacional que puede generar células de convección y modificar la calidad de sus aguas. El objetivo principal de esta excursión es que los participantes comprendan y observen desde el punto de vista hidrogeológico la relación entre las aguas subterráneas y los ecosistemas superficiales asociados como la laguna de Pétrola. Este trabajo forma parte de las actividades de divulgación de los proyectos: “Atenuación de contaminantes orgánicos e inorgánicos en medios de elevada salinidad. Traslación biotecnológica”-JCCM/FEDER (SBPLY/2/1/180501/000055) y “Advances on atrazine attenuation processes in high salinity media for the development of remediation strategies” PID2022-139911OB-C44. MCIN/AEI/FEDER,

## PARA SABER MÁS:

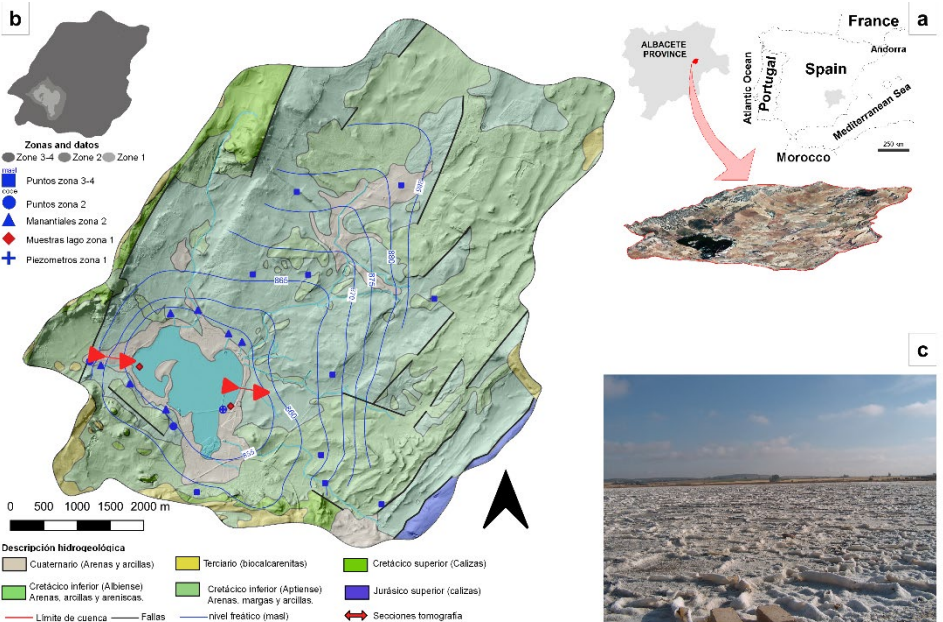
Gómez-Alday, J. J., Castaño, S., & Sanz, D. (2008). Contribución al estudio de la salinización en las aguas subterráneas de la cuenca endorreica de la laguna de Pétrola (Pétrola, Albacete). *Sabuco: Revista de estudios albacetenses*, (6), 9-31.

Valiente N (2018) A multidisciplinary approach for assessing natural attenuation of pollutants in a highly saline lake-aquifer system: the case of Pétrola lake, Spain. PhD Thesis, Universidad de Castilla-La Mancha, Spain.

Sanz, D., Valiente, N., Dountcheva, I., Muñoz-Martín, A., Cassiraga, E., & Gómez-Alday, J. J. (2022). Geometry of the modelled freshwater/salt-water interface under variable-density-driven flow (Pétrola Lake, SE Spain). *Hydrogeology Journal*, 30(3), 975-988.

# RESERVA NATURAL LAGUNA SALADA DE PÉTROLA

El entorno de la Laguna de Pétrola fue declarado Reserva Natural debido a sus valores naturales en septiembre de 2005 (Decreto 102/2005). Entre estos valores destaca porque mantiene una importante comunidad de aves acuáticas, como por ejemplo los flamencos. La Reserva Natural se encuentra situada a unos 35 km al sureste de la ciudad de Albacete en las proximidades de la localidad de Pétrola. La laguna de Pétrola es uno de los ejemplos más representativos de humedales hipersalinos del sur de Europa. Este rico ecosistema y la importancia ambiental del humedal están estrechamente asociados con el funcionamiento hidrogeológico del sistema. Para entender su funcionamiento se debe estudiar toda la cuenca endorreica de la Laguna de Pétrola, de unos 43 km<sup>2</sup> de extensión (Fig.1). La singularidad geológica que permite la existencia de hábitats extremos en esta laguna se debe, entre otros factores, a la salinidad de sus aguas subterráneas, cuya concentración en sulfato puede superar los 900 mg/l (Sales de Epsom). En ocasiones las aguas de la laguna pueden llegar a tener concentraciones de 50 g/L de sólidos disueltos totales (TDS). Para hacerse una idea el agua del mar Mediterráneo tiene una salinidad de unos 35 g/L de TDS.



**Figura 1.** Mapa geológico simplificado sombreado a partir del MDT. Las líneas azules muestran las isolíneas del flujo subterráneo. a: Ubicación del área de estudio. b: zonación hidroquímica. c: fotografía del proceso de concentración de sal debido a la evaporación. Modificado de Sanz et al., (2022).

# DESCRIPCIÓN DE LAS PARADAS

**Salida:** Comenzaremos nuestra excursión en el mirador del Calvario (Pétrola). Desde esta panorámica deduciremos perfectamente que es una cuenca endorreica e intentaremos entender el ciclo del agua en dicha cuenca. Para ello, lo primero que tenemos que pensar es que las aguas superficiales y las aguas subterráneas son dos manifestaciones de un solo recurso integrado. Parte del agua que llega a la superficie de la cuenca endorreica procede de la precipitación (**R**) y los retornos de riego. El agua es contenida en la zona más superficial del suelo y puede ser devuelta a la atmósfera mediante el proceso denominado evapotranspiración (**ETR**). Otra parte del agua puede infiltrarse e ir descendiendo verticalmente por poros y grietas hasta una zona donde la totalidad de los poros y grietas están saturados de agua (**I**). Esta zona es la que se denomina acuífero. Otra parte del agua caída sobre la superficie discurre por el terreno en forma de escorrentía configurando lo que se denomina red de drenaje (**Q<sub>sup</sub>**). Gran parte del agua que circula por los arroyos o aparece por los manantiales y humedales procede de las aportaciones subterráneas del acuífero cuando el nivel freático intersecta la topografía del terreno (**Q<sub>sub</sub>**). Todos estos flujos se dirigen hacia la laguna donde también recibe los aportes de precipitación directa (**P<sub>d</sub>**) y de las aguas residuales después del filtro verde (**Q<sub>res</sub>**). Las únicas salidas del sistema se producen por los bombeos de agua subterránea (**P<sub>s</sub>**) y por la evaporación directa desde la laguna (**E**). Todo ello tiene que cumplir la ecuación de la continuidad donde las Entradas – Salidas = Variación de almacenamiento (**AV**).

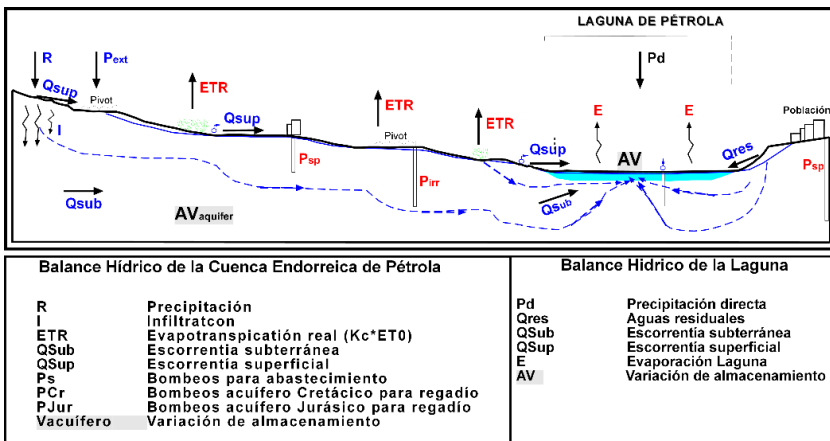
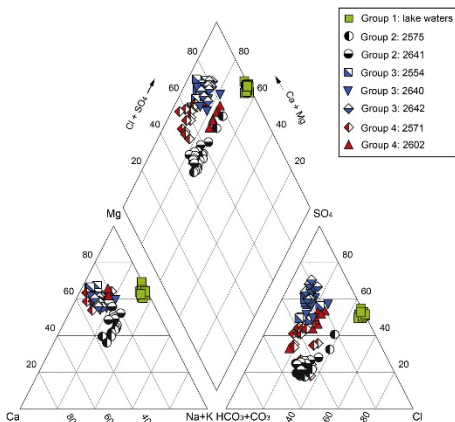


Figura 2. Esquema simplificado del ciclo del agua en la cuenca endorreica de Pétrola.

**Parada 1: ¡Ay que agua más salada!** La molécula de agua está formada por 2 átomos de H y un átomo de O unidos mediante enlaces covalentes polares formando un ángulo de 105°. Esto genera una desigualdad de cargas eléctricas en la misma molécula. Esta propiedad se relaciona con otras propiedades físico-químicas pero sobre todo con una; la solubilidad. El agua es el disolvente universal de los compuestos iónicos (la mayoría de las rocas) que al entrar en contacto con los materiales geológicos de la superficie del terreno y del acuífero va adquiriendo un determinado quimismo.

Hidroquímicamente, la cuenca endorreica se dividió en cuatro zonas diferentes (Valiente, 2018). La Zona I corresponde a las aguas de la laguna con una hidrofacies que se puede clasificar como Mg-Na-SO<sub>4</sub>-Cl. Las aguas superficiales del lago tienen valores Conductividad Eléctrica (CE) que pueden oscilar entre 59.300 μS/cm y 123.000 μS/cm (TDS 50g/L), y un pH entre 8,6-9,4. La concentración de nitrato en las aguas de la laguna están por debajo del límite de detección (<0,3 mg/L). Las zonas (2, 3 y 4 alrededores de la laguna) tienen valores de pH de 7,3 a 8,8. Los valores de CE y TDS oscilaron entre 975 y 2820 μS/cm y entre 0,5 y 1,5 g/l TDS, respectivamente. Las concentraciones de nitrato variaron desde debajo del límite de detección hasta 99,2 mg/L. El tipo de agua subterránea en el área circundante varió entre Mg-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> y Na-Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl, como se muestra en la Fig. 3.



**Figura 3.** Diagrama de Piper mostrando las facies hidroquímicas de las aguas presentes en la cuenca endorreica de la laguna de Pétrola. Tomado de Valiente (2018).

Parámetro	Valor
Bacterias Coliformes	
Oxígeno Disuelto (mg/L)	
Potencial redox (mV)	
Temperatura (°C)	
pH	
Nitratos (mg/L)	
Turbidez (UTJ)	
Conductividad eléctrica (μS/cm)	

**Tabla I.** Parámetros físico-químicos analizados en la excursión.



## Parada 2: Bacterias aliadas en la descontaminación de las aguas.

La presencia de altas concentraciones de nitratos en las aguas subterráneas de la cuenca endorreica podría provocar la eutrofización de las aguas de la laguna e incluso ser perjudicial para la salud humana si se consumen para abastecimiento. Sin embargo, aunque existen nitratos en las aguas del acuífero, prácticamente no existen en la laguna. ¿Cómo puede ser? Como respuesta natural a la entrada de contaminantes en la laguna de Pétrola, ésta responde tratando de restablecer el equilibrio biogeoquímico promoviendo procesos de atenuación de contaminantes. La singularidad del entorno y las condiciones de salinidad de sus aguas dan lugar a la existencia de un ambiente extremo propicio a desarrollar y albergar microorganismos extremófilos. Estos microorganismos tienen adaptaciones metabólicas que les confiere la capacidad de mediar ciertos procesos redox que participan en el reciclado de nutrientes (nitrógeno y azufre, principalmente) y en la atenuación de procesos de biorremediación.

Por lo tanto, la evaluación de la diversidad bacteriana del agua y sedimento de la laguna de Pétrola presenta un gran interés por la posibilidad de encontrar bacterias que participen en procesos de atenuación de contaminantes y biorremediación de áreas contaminadas.

Se han realizado estudios sobre las comunidades bacterianas de la Laguna de Pétrola para la búsqueda de bacterias nativas implicadas en la degradación de la contaminación. Los resultados ofrecen cultivos puros y la identificación de bacterias procedentes del agua superficial, sedimento y agua subterránea con capacidad metabólica para la degradación del nitrato e incluso de la atrazina.



Figura 4. Algunas de las bacterias aisladas en la Laguna de Pétrola.

## Parada 3: Aguas con diferente densidad.

Tal y como hemos visto, la laguna de Pétrola se alimenta del acuífero subyacente con agua subterránea relativamente dulce (1 g/L TDS). El agua almacenada en la laguna sufre altas tasas de evaporación que promueven un aumento en la concentración de sales a lo largo del tiempo en el agua del lago (en ocasiones superiores a 100 g/L de TDS). La diferencia de densidad entre el agua superficial del lago y el agua subterránea regional puede alcanzar hasta 0,25 g/cm<sup>3</sup>. Por tanto, se produce un gradiente de concentración entre el agua salada sobre el agua subterránea dulce, lo que provoca células de convección mediante un flujo impulsado por la densidad hacia el acuífero en forma de "dedos" o "lóbulos". (Fig. 5). Para observar este fenómeno los hidrogeólogos utilizamos métodos de prospección geoelectrónica ya que se son capaces de mostrar el contraste entre diferentes resistividades de corriente continua en aguas subterráneas salinas y aguas subterráneas dulces (Fig. 6). Cuando las diferencias de densidad entre las dos aguas son lo suficientemente altas, el transporte de solutos es el resultado de un flujo convectivo que desempeña un papel importante en el transporte de especies bio-químicas (incluidas las bacterias del apartado anterior).

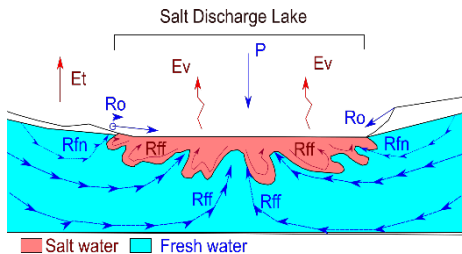
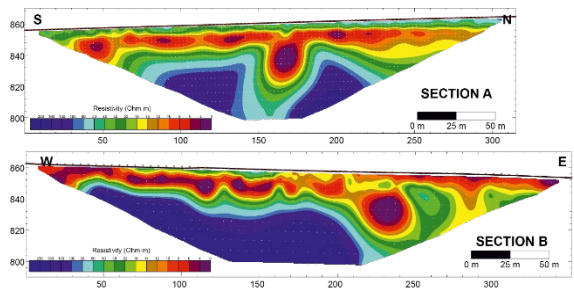


Figura 6. Modelo inverso de distribuciones de resistividad para perfiles de tomografía eléctrica en 2D. La baja resistividad (magenta-rojo) representa alta conductividad eléctrica (EC de 80 a >160 mS/cm), mientras que la alta resistividad (azul-verde) muestra áreas de baja EC (<1–20 mS/cm). Naranja-amarillo indica la zona de transición (interfase) con EC de 20 a 80 mS/cm. Modificado de Sanz et al., (2022).

Figura 5. Modelo conceptual de flujo de densidad variable en la laguna de Pétrola. Las entradas de agua al lago provienen de entradas de agua subterránea (superficial (Rfn) y regional (Rff)), escorrentía superficial y manantiales (Ro) y precipitación directa sobre el lago (P). La evaporación (Ev) y la evaporotranspiración (Et) hacen que las sales se concentren y precipiten en la superficie del lago.



ALBACETE

# HIDROGEODÍA

# 2024



## AGUA DULCE – AGUA SALADA (Laguna de Pétrola)

Domingo 7 de abril de 10.00 A 14.00

Jornada de divulgación gratuita para todos los públicos sobre la hidrogeología

**Organizadores y monitores del Hidrogeodía Albacete 2024:** David Sanz, Nivolas Valiente, Iordanka Dountcheva, Yolanda Espin, Beatriz Toledo, Gustavo Martínez, Silvia Rodríguez, Manuel Martín, Ana Teresa Moreno, Juan José Gómez-Alday.



Ayto. Pérola

